动 物 学 研 究 2007, Aug. 28 (4): 389-394 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

大耳姬鼠对滇西北18种植物种子的捕食

王 博[1,2,*]，杨效东[2]
(1. 河北大学 生命科学学院，河北 保定 071002；2. 中国科学院西双版纳热带植物园，云南 勐腊 666303)

摘要：2004年9月至10月在滇西北高海拔地区对18种植物种子进行了野外被捕食研究。选取高、低两种人为干扰程度的生境；高、低两种种子密度：3粒种子/塑料盘和15粒种子/塑料盘；3种试验设置：排除啮齿动物等大型捕食者、排除蚂蚁等小型捕食者，不作任何处理作为对照。其结果表明，种子捕食者主要为夜间活动的大耳姬鼠（*Apodemus latronum*）。种子在高人为干扰的生境中被捕食率要显著低于低人为干扰的生境（$F_{1,430}=7.78$，$P<0.01$）；种子在高密度状况下的被捕食率要显著高于低密度状况（$F_{1,430}=13.16$，$P<0.001$）。大耳姬鼠对于不同种类植物种子也有很强的选择性（$F_{17,414}=106.69$，$P<0.001$），如喜好取食华山松（*Pinus armandi*）、中甸乌头（*Aconitum chungdianensis*）、豆科一种（*Leguminosae* sp.）和大头续断（*Dipsacus asper*）的种子，而不喜好取食高山柏（*Sabina squamata*）、黄花木（*Piptanthus concolor*）、栒子（*Cotoneaster* sp.）和西南鸢尾（*Iris bulleyana*）的种子。18种植物中，种子大小与其被捕食率高低之间无显著相关性，不同硬度等级的种子与被捕食率也无显著差异（$P>0.05$）。

关键词：滇西北；种子被捕食；密度；生境；种子性状
中图分类号：959.837 **文章标识码**：A **文章编号**：0254-5853(2007)04-0389-06

Seed Predation of *Apodemus latronum* on 18 Plant Species in Northwest Yunnan

WANG Bo[1,2,*], YANG Xiao-dong[2]
(1. *College of Life Science, Hebei University, Baoding* 071002, *China*;
2. *Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Mengla* 666303, *China*)

Abstract: Different species of seed predation was studied in northwest Yunnan province, China from September to October in 2004. Eighteen species belonging to 17 genus and 15 families were collected from the field. The experiment was done in two habitats with different disturbance intensities. Two kinds of seed densities were chosen: one had three and the other had 15 seeds in each plate. Three treatments were set: rodents excluded with metal mesh, ants excluded with butter and open with no mesh and butter. The results showed that the rodent (*Apodemus latronum*) was the only seed consumer and dispersal feeding was observed. Seed predation rates were significantly higher in the light disturbance habitat (44.1%) compared to the heavy disturbance habitat (40.4%) ($F_{1,430}=7.78$, $P<0.01$). Seeds with high density had higher predation rates (44.6%) than seeds with low density (39.9) ($F_{1,430}=13.16$, $P<0.001$). The attraction of different kinds of seeds to predators was significantly different ($F_{17,414}=106.69$, $P<0.001$). Predators preferred the seeds of *Pinus armandii*, *Dipsacus asper* and *Aconitum chungdianensis*, but not the seeds of *Sabina squamata*, *Piptanthus concolor*, *Cotoneaster* sp and *Irs bulleyana*. There was no significant relationship between seed size and seed predation ($P>0.05$). There was also no significant difference in predation between seeds with different hardness ($P>0.05$).

Key words: Northwestern Yunnan; Seed predation; Density; Habitat; Seed traits

动物通过捕食植物种子来获取食物，满足自身营养需要。在捕食过程中，有些动物，如蚂蚁、鸟类，尤其是啮齿类动物等会贮藏种子以度过食物短缺期，部分被埋藏储存的种子可能会由于某些原因而免遭捕食，而发育成幼苗，从而促进了植物的传播与扩散（Hulme, 1997; Lu, 2001; Zhang et al,

* 收稿日期：2007-05-09；接受日期：2007-06-20
基金项目：中国科学院知识创新工程重要方向项目（KSCX2-1-09）
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail: yangblue@xtbg.org.cn

2002；Ma et al，2004）。

Rey et al（2002）指出不同种类植物种子处于不同的生境和海拔会遭受不同的捕食压力。Jones et al（2003）研究发现种子离森林边缘的距离差异可使其被捕食强度不同。Fleury & Galetti（2004）提出森林斑块的大小会影响种子的被捕食强度，斑块越大，种子被捕食概率越小。关于种子密度对于种子被捕食强度影响的研究同样存在很大争议，多数研究表明种子被捕食强度呈现一种正密度依赖性，即随着密度的增加，种子的被捕食率也随之增加（Sanchez-Cordero & Martinez-Gallardo，1998；Cabin et al，2000；Brewer & Webb，2001；Russo，2005）。但也有一些不同观点，如Sara（1985）认为种子密度的改变对于种子的被捕食强度没有影响，而Andersen（1987）则发现高密度下的种子成活率反而较高。

种子性状，尤其是种子的大小对于种子的被捕食强度有很大影响。Alcantara et al（2000）指出大种子的被捕食率显著高于小种子，Vander Wall（1994）也发现随着种子个体的增大，其被动物收获的速度和捕食储藏率也随之增大，许多类似的研究也表明大种子会遭受更强的捕食（Sork，1987；Boman & Casper，1995；Jansen et al，2004）。然而，Blate et al（1998）指出由于大种子通常具有较硬种皮而不易被一些小型捕食者取食，反而小种子种皮较软，则容易被取食。其他一些研究也认为小种子更容易遭受捕食（Osunkoya，1994）。由此可见，由于研究地点、气候条件、植物种类以及捕食者种类不同，其研究结果有较大差异。

滇西北地处中国特有种的三个分布中心之一的横断山地区，因其特殊地理位置和复杂地貌特征，生态系统地位非常显著（Li，1994；Deng & Zhou，2004）。该区域高山松林集中分布在海拔3 000—3 400 m的阳坡和半阳坡，是我国松林中分布海拔最高的特有类型，对地方林业生产、水土保持和地区生物多样性保护具有重要作用（Wu et al，1994）。因此，对高山松林的自然更新研究具有重要意义，而森林的自然更新很大程度上依赖于林中啮齿动物通过捕食和贮藏行为对植物种子的扩散作用（Hulme，1997；Vander Wall，2001；Ma et al，2004；Xiao et al，2005）。本研究地设在高山松林地区，对滇西北18种植物种子的被捕食情况进行了比较研究，试图回答以下问题：1）在不同种子密度下种子被捕食率有何不同？2）在不同干扰强度生境下种子被捕食率的差异如何？3）种子大小和种皮硬度对于其被捕食率的影响。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点

研究地点位于云南省迪庆州香格里拉高山植物园，东经98°38′11，北纬27°54′10，海拔3 372 m。年平均气温5.4℃，年降雨量625 mm，且主要集中在5月到10月，干季从11月持续到次年4月（Zhang et al，2006）。

1.2 研究材料

试验选用来自该地区的15科17属共18种植物的种子进行被捕食研究，并对这18种植物种子的基本表征性状进行了初步测量（表1）。种子大小：随机选取供试种子30粒种子，用精度0.0001 g电子天平秤重、精度0.01 mm游标卡尺测量种子大小。种皮硬度分为3个等级：能用指甲比较容易打开的种皮定义为“软”，不能用指甲打开的定义为“硬”，而用刀都很难打开的则定义为“很硬”（Blate et al，1998）。

1.3 样地设置

在2004年9月中旬至11月中旬种子成熟时期进行种子摆放试验。在香格里拉高山植物园内选取2种（相距约1 500 m）不同人为干扰强度的生境作为研究样地。高干扰生境：属草地生境，地上植被稀疏，主要是蔷薇（*Rosa* sp.）、栒子（*Cotoneaster* sp.）等灌木，人为活动较频繁（样地附近有一藏民烧香台）；低干扰生境：是以高山松（*Pinus densata*）为优势树种的针叶林群落，植被比较茂密，并有矮高山栎（*Quercus monimotricha*）、云杉（*Picea* sp.）、桦（*Betula* sp.）、滇杨（*Populus yunnanensis*）等混生，林下分布着各种杜鹃（*Rhododendron* sp.）等灌丛以及一些草本植物。样地内的人为活动较少，干扰强度小。

1.4 试验设计

参考Willson & Whelan（1990）和Hulme & Borelli（1999）的研究方法，本研究设置低密度（3粒种子/塑料盘）和高密度（15粒种子/塑料盘）两个密度等级，分别摆放在倒扣于地面的直径12 cm塑料盘上。两种密度均设两种排除处理及对照：（1）排除啮齿动物等大型捕食者（用铁丝网围住塑料盘）、（2）排除蚂蚁等小型捕食者（塑料盘外壁

涂抹一层黄油)、(3)不做任何防护作为对照；每次摆放 3 种植物种子，每个种类每种密度在每个样地中设置 5 个重复，每个重复中的 3 种实验设置间隔 1 m 呈正三角状放置，重复与重复之间间隔 5 m。连续观察 6 天，每天观察两次(早上 8 点和下午 6 点)，并记录每个塑料盘中实验种子的消失数量，之后将当次剩余种子收回并重新放置新种子。

1.5　种子捕食者的调查

由于试验中仅发现夜间活动的啮齿类等大型捕食者对种子的捕食现象，因此本试验仅对夜间活动的啮齿类动物用活捕法(live-traps)进行取样调查(Cheng et al，2005)。在试验样地每隔 10 m 放置鼠笼 2 个(笼口分别朝向相反的方向)，共放置 25 个点，计 50 个鼠笼。用花生米做诱饵。每天上午 8 点观测一次，连续观测 6 天，共计 300 个铗日，记录捕食者种类和数量。

1.6　统计分析

在本研究中，采用被取食率来描述种子的被捕食强度：消失数量/摆放总数量。

用 One Way-ANOVA 对不同生境类型，不同摆放密度和不同种类植物种子对于种子的被捕食率差异进行检验分析。用 Pearson 相关分析对种子大小和种子的被捕食率进行相关性检验；所有统计分析都是在 SPSS for Windows 11.5 软件下进行。

2　结　果

2.1　种子捕食情况和捕食者

研究结果显示，白天 3 种实验设置下的种子均未遭到捕食。夜间，在两种生境和两种密度状况下，排除蚂蚁的处理和对照间的种子被捕食率均无显著差异($P > 0.05$)，而排除啮齿类处理的种子未遭到捕食(表 1)。由此表明：试验地只有啮齿类等大型捕食者对种子进行捕食，没有发现蚂蚁等小型无脊椎动物捕食者对种子进行捕食。

300 个铗日共捕获啮齿类 9 只，经鉴定均为大耳姬鼠(*Apodemus latronum*)，属于啮齿目(Rodentia)鼠科(Muridae)姬鼠属(*Apodemus*)，该种应为本地主要的种子捕食者。

2.2　影响种子被捕食率的因素分析结果

对种子密度、生境及植物种类对于种子被捕食率影响进行多因素方差分析，其结果表明：种子密度、生境和种子种类分别对啮齿类捕食种子的强度产生显著影响，并且各因素存在明显的交互作用(表 2)。

在高密度状况下，种子的被捕食率为 44.6%，要显著高于低密度状况下的被捕食率(39.9%)($F_{1,430} = 13.16$，$P < 0.001$，)；在低干扰生境中的种子被捕食率要显著高于高干扰生境中的种子被捕食率($F_{1,430} = 7.78$，$P < 0.01$)，其被捕食率分别为 44.1% 和 40.4%。

不同植物种子被捕食率差异显著($F_{17,414} = 106.69$，$P < 0.001$)(表 2、表 3)。在所摆放的 18 种植物种子中，高山柏、黄花木、栒子和西南鸢尾的被捕食率比较低，分别为 0.4%、5.1%、9% 和 9.3%；另外一些种类，例如大头续断、中甸乌头、豆科一种以及华山松，其被捕食率较高，分别为

表 1　在两种生境和密度情况下，三种实验设置下的种子被捕食率(%)

Tab. 1　Seed predation (%) at different treatments, habitats and seed densities

处理 Treatment	高干扰 Heavy disturbance		低干扰 Light disturbance	
	低密度 Low density	高密度 High density	低密度 Low density	高密度 High density
排除啮齿类 Rodents excluded	0	0	0	0
排除蚂蚁 Ants excluded	35.3 ± 6.7	39.6 ± 7.4	41.4 ± 7.5	46.8 ± 8.3
对照 Control	43.6 ± 6.3	43.2 ± 7.0	39.2 ± 7.2	49.0 ± 8.1

表 2　种子被捕食率和密度、生境、种类的多因素方差分析结果

Tab. 2　Three-way ANOVA for the effect of density, habitat and seed species on seed predation

	df	MS	*F*	*P*
密度 Density	1	2443.09	13.16	***
生境 Habitat	1	1444.68	7.78	**
种类 Species	17	19811.50	106.69	***
密度 × 生境 Density × Habitat	1	861.34	4.63	*
密度 × 种类 Density × Species	17	801.09	4.31	***
生境 × 种类 Habitat × Species	17	961.62	5.18	***
密度 × 生境 × 种类 Density × Habitat × Species	17	1323.52	7.13	***

*** $P < 0.001$，** $P < 0.01$，* $P < 0.05$，$n = 432$.

表 3　18 种植物种子的相关性状及其被取食率

Tab. 3　The size, hardness and predation for seeds of the 18 plant species

植物种类 Plant species	长度 Length（mm）	百粒重 Weight（g）	种皮硬度 Hardness	被取食率 Seed predation（%）
刺天茄 *Hyoscyamus niger*	2.31	0.213	软	19.8
中甸乌头 *Aconitum chungdianensis*	2.87	0.144	软	76.4
扁翅唐松草 *Thalictrum delavayi*	3.54	0.317	软	62.3
鼠尾草 *Salvia* sp.	3.70	0.327	软	47.2
豆科一种 *Leguminosae*	4.32	7.209	硬	83.0
桃七 *Sinopodophylum hexandrum*	4.37	1.745	硬	47.0
西南鸢尾 *Iris bulleyana*	4.58	1.773	软	9.3
大头续断 *Dipsacus asper*	4.89	0.668	软	72.0
黄连根 *Berberis* sp.	5.11	1.041	软	26.7
黄花木 *Piptanthus concolor*	5.31	3.804	软	5.1
栒子 *Cotoneaster* sp.	5.64	3.167	非常硬	9.0
中甸山楂 *Crataegus chungdianensis*	5.82	3.103	硬	21.2
钩柱唐松草 *Thalictrum uncatum*	6.08	0.624	软	43.0
桦叶荚蒾 *Viburnum betulifolium*	6.22	2.308	软	68.0
高山柏 *Sabina squamata*	6.75	20.287	非常硬	0.4
刺五加 *Acanthopanax senticosus*	7.79	1.610	软	38.6
波凌瓜 *Hemsleya pedunculosum*	11.25	7.488	软	38.1
华山松 *Pinus armandi*	13.60	32.950	非常硬	93.8

72.0%、76.4%、83.0% 和 93.8%。其他种类则是一些受到中等捕食强度的类型，包括中甸山楂、波凌瓜、桃七、鼠尾草等。

2.3　种子大小和硬度对种子被捕食率的影响

试验所用的 18 种植物种子被捕食率与其大小（包括长度和重量）之间均无显著相关性（种子长度：$r = 0.18$，$P = 0.476$；种子重量：$r = 0.20$，$P = 0.434$）。相同大小、不同种类的种子被捕食率差异很大，例如豆科一种、桃七、西南鸢尾和大头续断大小均为 4.5 mm 左右，但其被捕食率差异范围很大（83.0%—9.3%）（表 3）。不同种皮硬度的种子被捕食率也无显著差异（$F_{2,15} = 0.211$，$P = 0.812$）。相同硬度等级的种子其被捕食率也具有较大差异，如华山松和高山柏的种皮都非常硬，但其被捕食率差别很大，分别为 93.8% 和 0.4%。对于 12 种软种皮的种子，被捕食率差异范围很大，为 76.4%—5.1%（表 3）。

3　讨　论

关于种子密度对于捕食影响的研究很多，但由于研究的植物种类、研究地点、气候等不同，并没有得出一致结论（Sara & Mary，1985；Forget，1992；Gryj & Dominguez，1996；Brewer & Webb，2001；Russo，2005）。本研究所表现出的是一种正密度依赖，即种子在高密度下的被捕食率明显高于低密度。这和很多研究一致（Cabin et al，2000；Brewer & Webb，2001；Russo，2005），但也有一些不同的研究结果（Andersen，1987；Forget，1992；Burkey，1994）。该地区啮齿类动物这一正密度依赖捕食特性可能会使母树下种子密度降低，从而有利于幼苗的建立与存活（Russo，2005），但需进一步的深入研究。

在不同的空间尺度上，种子被捕食率存在显著差异，而这些差异产生的原因是多方面的，诸如捕食者种类、密度以及空间分布，森林斑块大小，不同的植被类型等，都会造成植物种子被捕食率的差异（Janzen，1971；Hulme，1998；Rey et al，2002；Jones，2003；Fleury & Galetti，2004）。Cintra（1997）发现放在裸地上的种子比放在有树叶地面上的种子被捕食的速度更快，Kollmann（1995）指出森林里的种子被捕食率明显低于空旷地。我们的研究表明种子在植被比较茂密的低干扰生境中的被捕食率要显著高于植被较稀疏的高干扰生境。这可能是由于啮齿类动物多在植被比较复杂的生境中活动（Ostfeld et al，1997；Manson et al，1998；Jones et al，2003），而在复杂植被环境中的取食风险相对较低（Lu & Zhang，2004）。此外，在本研究高干扰样地中，可能由于当地藏民的活动干扰影响了捕食者对种子的捕食，从而使种子被捕食率低于低干扰样地。

不同植物的种子被捕食率存在显著差异，其原因可能是多方面的，本研究中捕食者喜欢取食华山松豆科的一种，可能是由于这些种子具有较高营

养，从而遭受较高强度的捕食（Vander Wall，1995；Brewer，2001）；但另一些种子，例如中甸乌头和大头续断同样遭受到较高的被捕食率，则可能是由于捕食者便于取食这类种子，取食时间较短，从而降低了捕食风险。

同样，造成一些种子遭受低强度捕食的原因也可能是多方面的。Terborgh et al（1993）发现 *Calatola venezuelana* 的种子由于具有很强的物理防御基本不遭受任何强度的捕食。种子所含有的某些次生代谢物质也会降低其被捕食风险（Janzen，1971；Kollmann et al，1998）。本试验中高山柏和黄花木种子有一种特殊的气味，可能是其被捕食率比较低的一个重要原因。种皮与胚和胚乳重量的比例对于种子的被捕食率也有显著影响（Garcia et al，2005），本研究中的高山柏、栒子等被捕食率较低，则可能是由于营养含量较少，其种仁所占种子总重量的比例较小所致。然而，上述各种解释还有待更多的证实。

不少研究表明种子大小和种子的被捕食强度有很大相关性（Blate et al，1998；Jones et al，2003），一种观点认为个体较大的种子对于捕食者来说具有较高的捕食效益，而会遭受较高的被捕食强度（Sork，1987；Boman & Casper，1995），而另一种观点恰恰相反，认为个体较小的种子对捕食者而言取食较为容易，相对捕食风险较小，因而会遭受较大强度的捕食（Osunkoya，1994；Blate et al，1998）。本研究没有发现种子大小和被捕食关系之间存在显著相关性，这和很多其他的研究结果相同（Hammond，1995；Holl & Lulow，1997）。我们也没有发现种皮硬度和其被捕食率间存在相关性。由此可见，不同种类种子间被捕食率存在差异，可能并不是由于种子的某一性状引起的，而是由种子的多种性状，包括大小、种皮硬度、营养、有毒次生代谢物质等综合因素作用的结果。

致谢：本实验在云南迪庆州香格里拉高山植物园内完成。中科院西双版纳热带植物园陈进研究员在研究思路上给予了指导。对版纳植物园吴德林老师在鼠类标本鉴定和高山植物园在植物标本鉴定上给予的帮助一并致谢。

参考文献：

Alcantara JM，Rey PJ，Sanches-Lafuente AM，Valera F. 2000. Early effects of rodent post-dispersal seed predation on the outcome of the plant-seed disperser interaction［J］. *Oikos*，**88**（2）：362－370.

Andersen AN. 1987. Effects of seed predation by ants on seedling densities at a woodland site in SE Australia［J］. *Oikos*，**48**：171－174.

Blate GM，Peart DR，Leighton M. 1998. Post-dispersal predation on isolated seeds：A comparative study of 40 tree species in a Southeast Asian rainforest［J］. *Oikos*，**82**（3）：522－538.

Boman JS，Casper BB. 1995. Differential post-dispersal seed predation in disturbed and intact temperate forests［J］. *American Midland Naturalist*，**134**：107－116.

Brewer SW. 2001. Predation and dispersal of large and small seeds of a tropical palm［J］. *Oikos*，**92**（2）：245－255.

Brewer SW，Webb MAH. 2001. Ignorant seed predators and factors affecting the seed survival of a tropical palm［J］. *Oikos*，**93**（1）：32－41.

Burkey TV. 1994. Tropical tree species-diversity-a test of the Janzen-Connel model［J］. *Oecologia*，**97**（4）：533－540.

Cabin RJ，Marshall DL，Mitchell RJ. 2000. The demographic role of soil seed banks. Ⅱ. Investigations of the fate of experimental seeds of the desert mustard *Lesquerella fendleri*［J］. *Journal of Ecology*，**88**（2）：293－302.

Cheng JR，Xiao ZS，Zhang ZB. 2005. Seed consumption and caching on seeds of three sympatric tree species by four sympatric rodent species in a subtropical forest，China［J］. *Forest Ecology and Management*，**216**：331－341.

Cintra R. 1997. Leaf litter effects on seed and seedling predation of the palm *Astrocaryum murumuru* and the legume tree *Dipteryx micrantha* in Amazonian forest［J］. *Journal of Tropical Ecology*，**13**：709－725.

Deng M，Zhou ZK. 2004. Seed plant diversity on screes from northwest yunnan［J］. *Acta Botanica Yunnanica*，**26**（1）：23－34.［邓敏，周浙昆. 2004. 滇西北高山流石滩植物多样性. 云南植物研究，**26**（1）：23－34.］

Fleury M，Galetti M. 2004. Effects of microhabitat on palm seed predation in two forest fragments in southeast Brazil［J］. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*，**26**（3）：179－184.

Forget PM. 1992. Seed removal and seed fate in *Gustavia-Superba*（Lecythidaceae）［J］. *Biotropica*，**24**（3）：408－414.

Garcia D，Obeso JR，Martinez I. 2005. Rodent seed predation promotes bird-dispersed trees in temperate differential recruitment among secondary forests［J］. *Oecologia*，**144**（3）：435－446.

Gryj EO，Dominguez CA. 1996. Fruit removal and postdispersal survivorship in the tropical dry forest shrub erythroxylum havanense：Ecological and evolutionary implications［J］. *Oecologia*，**108**（2）：368－374.

Hammond DS. 1995. Postdispersal seed and seedling mortality of tropical dry forest trees after shifting agriculture，Chiapas，Mexico［J］. *Journal of Tropical Ecology*，**11**：295－313.

Holl KD，Lulow ME. 1997. Effects of species，habitat，and distance from edge on post-dispersal seed predation in a tropical rainforest［J］. *Biotropica*，**29**（4）：459－468.

Hulme PE. 1997. Post-dispersal seed predation and the establishment of vertebrate dispersed plants in Mediterranean scrublands［J］. *Oecologia*，**111**（1）：91－98.

Hulme PE. 1998. Post-dispersal seed predation and seed bank persistence［J］. *Seed Science Research*，**8**（4）：513－519.

Hulme PE，Borelli T. 1999. Variability in post-dispersal seed predation in deciduous woodland：Relative importance of location，seed

species, burial and density [J]. *Plant Ecology*, **145**: 149-156.

Jansen PA, Bongers F, Hemerik L. 2004. Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent [J]. *Ecological Monographs*, **74** (4): 569-589.

Janzen DH. 1971. Seed predation by animals [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **2**: 465-492.

Jones FA, Peterson CJ, Haines BL. 2003. Seed predation in neotropical pre-montane pastures: Site, distance and seecies effects [J]. *Biotropica*, **35** (2): 219-225.

Kollmann J. 1995. Regeneration window for fleshy-fruited plants during scrub development on abandoned grassland [J]. *Ecoscience*, **2** (3): 213-222.

Kollmann J, Coomes DA, White SM. 1998. Consistencies in post-dispersal seed predation of temperate fleshy-fruited species among seasons, years and sites [J]. *Functional Ecology*, **12** (4): 683-690.

Li XW. 1994. Two big biodiversity centers of Chinese endemic genera of seed plants and their characteristics in Yunnan province [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, **16** (3): 221-227. [李锡文. 1994. 中国特有种子植物属在云南的两大生物多样性中心及其特征. 云南植物研究, **16** (3): 221-227.]

Lu CH. 2001. Effect of rodents on seed dispersal [J]. *Chinese Journal of Ecology*, **20** (6): 56-58. [鲁长虎. 2001. 啮齿类对植物种子的传播作用. 生态学杂志, **20** (6): 56-58.]

Lu JQ, Zhang ZB. 2004. Predation risk and its impact on animal foraging behavior [J]. *Chinese Journal of Ecology*, **23** (2): 66-72. [路纪琪, 张知彬. 2004. 捕食风险及其对动物觅食行为的影响. 生态学杂志, **23** (2): 66-72.]

Ma J, Li QF, Sun RY, Liu DZ. 2004. Rodents as the key predators of ground seeds of *Quercus liaotungensis* in Xiaolongmen Forestry Centre, Beijing [J]. *Zool Res*, **25** (4): 287-291. [马 杰, 李庆芬, 孙儒泳, 刘定震. 2004. 啮齿动物对北京小龙门林场辽东栎地表种子的扩散. 动物学研究, **25** (4): 287-291.]

Manson RH, Ostfeld RS, Canham CD. 1998. The effects of tree seed and seedling density on predation rates by rodents in old fields [J]. *Ecoscience*, **5** (2): 183-190.

Ostfeld RS, Manson RH, Canham CD. 1997. Effects of rodents on survival of tree seeds and seedlings invading old fields [J]. *Ecology*, **78** (5): 1531-1542.

Osunkoya OO. 1994. Postdispersal survivorship of North Queensland rain-forest seeds and fruits-effects of forest, habitat and species [J]. *Australian Journal of Ecology*, **19** (1): 52-64.

Rey PJ, Garrido JL, Alcantara JM, Ramirez JM, Auilera A, Garcia L, Manzaneda AJ, Fernandez R. 2002. Spatial variation in ant and rodent post-dispersal predation of vertebrate-dispersed seeds [J]. *Functional Ecology*, **16** (6): 773-781.

Russo SE. 2005. Linking seed fate to natural dispersal patterns: Factors affecting predation and scatter-hoarding of *Virola calophylla* seeds in Peru [J]. *Journal of Tropical Ecology*, **21** (3): 243-253.

Sanchez-Cordero V, Martinez-Gallardo R. 1998. Postdispersal fruit and seed removal by forest-dwelling rodents in a lowland rainforest in Mexico [J]. *Journal of Tropical Ecology*, **14**: 139-151.

Sara LW, Mary FW. 1985. Spatial heterogeneity in post-dispersal predation on *Prunus* and *Uvularia* seeds [J]. *Oecologia*, **67**: 150-153.

Sork VL. 1987. Effects of predation and light on seedling establishment in *Gustavia superba* [J]. *Ecology*, **68**: 1341-1450.

Terborgh J, Losos E, Riley MP, Riley MB. 1993. Predation by vertebrates and invertebrates on the seeds of 5 canopy tree species of an Amazonian forest [J]. *Vegetatio*, **108**: 375-386.

Vander Wall SB. 1994. Removal of wind-dispersed pine seeds by ground-foraging vertebrates [J]. *Oikos*, **69** (1): 125-132.

Vander Wall SB. 1995. The effects of seed value on the caching behavior of yellow pine chipmunks [J]. *Oikos*, **74** (3): 533-537.

Vander Wall SB. 2001. The evolutionary ecology of nut dispersal [J]. *Botanical Review*, **67**: 1174-1177.

Willson MF, Whelan CJ. 1990. Variation in postdispersal survival of vertebrate-dispersed seeds: Effects of density, habitat, location, season, and species [J]. *Oikos*, **57**: 191-198.

Wu ZL, Dang CL, Wang CY, He ZR. 1994. A preliminary study on biomass of *Pinus densata* forests in Northwest Yunnan Province, China [J]. *Journal of Yunnan University*, **16** (3): 220-224. [吴兆录, 党承林, 王崇云, 和兆荣. 1994. 滇西北高山松林生物量的初步研究. 云南大学学报, **16** (3): 220-224.]

Xiao ZS, Zhang ZB, Wang YS. 2005. The effects of seed abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Castanopsis fargesii* (Fagaceae) [J]. *Plant Ecology*, **177**: 249-257.

Zhang SB, Hu H, Xu K, Li ZR. 2006. Gas exchanges of three co-occurring species of *Cypripedium* in a scrubland in the Hengduan mountains [J]. *Photosynthetica*, **44** (2): 241-247.

Zhang ZY, Li YH, Zhao ZM. 2002. Mutualism between ants and myrmecochores [J]. *Zool Res*, **23** (5): 437-443. [张智英, 李玉辉, 赵志模. 2002. 蚂蚁与蚁运植物的互惠共生关系. 动物学研究, **23** (5): 437-443.]